

滇西北兰坪金顶可能的古油气藏及 对铅锌大规模成矿的作用

薛春纪^{1,2}, 高永宝³, CHI Guo-xiang⁴, David L Leach⁵

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室 北京 100083; 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;
3. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 4. Department of Geology, University of Regina, Regina S4S0A2,
Saskatchewan, Canada; 5. Denver Federal Center, US Geological Survey, Denver 80225, Colorado, USA)

摘要: 滇西北兰坪中—新生代沉积盆地具有中国最大的铅锌矿床, 巨量铅锌矿石集中产于金顶穹窿内, 矿石中不同产状的干酪根、轻质原油、重油、烃类气、沥青等多种成熟形式的有机物质丰富。对矿区有机物质进行了岩相学、生物标志化合物、碳同位素及铅同位素分析, 结果显示: 有机物质中氯仿沥青“A”的质量分数为 $(72 \sim 395.415.42) \times 10^{-6}$, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳香烃})$ 普遍大于 1, 饱和烃中检测出丰度较高的正构烷烃、Pr、Ph 和 iC_{18} 等生物标志化合物, 烃源母质为藻类生物型有机质; 相对于区域岩石, 矿石中有机物质的有机转化率较低(0.5% ~ 7.2%, 平均为 3.05%), 已明显受热而成熟; 透射全色光和紫外光显微镜在矿石光薄片样品中鉴别出较多原油和烃类气体包裹体。研究表明: 金顶穹窿具有油气成藏“生、运、储、盖、闭”等配套发育的良好条件, 矿区油气显示和古油气藏遗迹明显, 铅锌成矿前或成矿中可能已形成油气藏; 这个可能的油气藏以富含原油、烃类和 H_2S 等还原性气体为成分特征; 金顶古油气藏中 H_2S 等还原性气体的聚集及其导致铅锌硫化物快速集中沉淀是大规模成矿的关键, 成藏—成矿是金顶穹窿中一个连续发生、发展的动力学过程, 成藏是成矿的前提。

关键词: 油气显示; 原油包裹体; 古油气藏; 超大型铅锌矿; 兰坪金顶

中图分类号: P611; P593 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)03-0221-09

Possible Former Oil-gas Reservoir in the Giant Jinding Pb-Zn Deposit, Lanping, NW-Yunnan; the Role in the Ore Accumulation

XUE Chun-ji^{1,2}, GAO Yong-bao³, CHI Guo-xiang⁴, David L Leach⁵

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. Department of Geology, University of Regina, Regina S4S0A2, Saskatchewan, Canada; 5. Denver Federal Center, US Geological Survey, Denver 80225, Colorado, USA)

Abstract Oil-gas reservoir and metal deposits always coexist in the sedimentary basin, and the dynamic relationship between them has long been interested. The biggest zinc-lead deposit in China occurs in the Lanping Meso-Cenozoic sedimentary basin, Northwest Yunnan. Giant zinc-lead ores distribute in the Jinding dome, and contain rich organic matters with different maturity, such as kerogen, light-and heavy crude oil, hydrocarbon gas, bitumen, and so on. Through research about lithofacies, biomarker compounds, carbon isotope and lead isotope of organic matters in Jinding deposit, some conclusions are drawn. Chloroform bitumen “A” of the organic matters is $(72 \sim 395.415.42) \times 10^{-6}$. The ratio of saturated hydrocarbon to aromatic hydrocarbon is always over 1. Lots of biomarkers such as N-Alkanes, Pr, Ph and iC_{18} are found in saturated hydrocarbon, and the parent material of biogenesis is mainly I-type. Compared with regional rocks, organic conversion rate of organic matters

收稿日期: 2009-03-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40930423); 国家自然科学基金项目(40772061; 40472054); 高等学校学科创新引智计划项目(B07011); 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421005); 长江学者和创新团队计划项目(IRT0755)

作者简介: 薛春纪(1962-), 男, 陕西眉县人, 教授, 博士研究生导师, 理学博士, 从事矿床学、矿产普查与勘探研究。E-mail: chunji.xue@cugb.edu.cn

in the ores is lower, from 0.5% to 7.2%, showing obvious maturity. Many crude oil and hydrocarbon gas inclusions are found with transmission and ultraviolet light microscope. There are good conditions for generation, migration, storage, covering, and trapping of oil-gas reservoir in Jinding dome, and oil-gas showings and remains of paleo-oil-gas reservoir are found in the ore region. All these indicate that a paleo-oil-gas reservoir had been formed before or during the mineralization, characterized by full of crude oil, hydrocarbon gas and hydrogen sulfide. The key points of large scale mineralization are accumulation of reducing gases, for instance, hydrogen sulfide, in Jinding oil-gas reservoir. The process from forming of oil-gas reservoir to mineralization is a continuous dynamic process, and the forming of oil-gas reservoir is the premise of mineralization.

Key words: oil-gas showings; crude oil inclusions; paleo-oil-gas reservoir; giant Zn-Pb deposit; Lanping basin

0 引言

沉积盆地中有机成藏与金属成矿的动力学关联是成矿学的热点课题。铅锌矿床中的有机质较早被观察, 常见密西西比河谷型(Mississippi Valley Type, MVT)矿床与油气田在区域上共存, 有机质在 MVT 矿床成矿中的作用研究较多^[1-18], 但矿床与油气藏的共存或共生现象鲜见。铅锌矿石中原油、烃类流体包裹体往往指示成矿前或成矿中可能存在的油气藏^[19]。产于滇西北兰坪中—新生代沉积盆地内的金顶铅锌矿床 1960 年被发现, 1984 年完成勘探, 是中国目前最大的铅锌矿床, 也是世界上形成时代最新且唯一陆相沉积岩容矿的超大型铅锌矿床, 代表了沉积岩容矿铅锌矿床一种新类型(金顶型)^[20-23]而颇受关注^[20-30]。伴随近年露天和地下的大规模开采, 金顶铅锌矿床中揭露出产状不同、形式多样的有机物质^[31-35], 古油气藏遗迹明显, 成为另一重要特征。

笔者在较多岩相学、流体包裹体观测和某些地球化学研究基础上, 试图揭示金顶铅锌矿区古油气藏的可能存在, 分析油气藏的性质及其在大规模铅锌成矿过程中的作用。

1 金顶铅锌矿床的区域和矿区地质

金顶铅锌矿床位于西南三江褶皱系兰坪—思茅盆地的北段, 该盆地北北西走向, 50~150 km 宽, 长度大于 400 km, 在古特提斯基础上, 充填了厚度大于 10 km 的从上三叠统到新近系的沉积地层, 除上三叠统灰岩和泥灰岩为海相—海陆过渡相沉积外, 中—新生代主体是陆相碎屑夹蒸发沉积^[36]。盆地东西边缘的金沙江—哀牢山断裂和澜沧江断裂及盆地中央的兰坪—思茅断裂等共同控制了盆地的构造演化, 印支期为残留海性质, 燕山期是拗陷盆地, 喜马拉雅期属走滑拉分盆地。喜马拉雅运动中, 区域构造推

覆活动明显, 中—新生界褶皱但没有发生明显区域变质, 见偏碱性岩浆侵入^[20, 36]。

金顶矿区出露中生界和新生界, 新生代推覆构造活动形成多个推覆构造面, 矿区较老地层被推覆到较新地层之上, 虎头寺组(K_2h)和云龙组(E_1y)为原地系统正常岩层, 景星组(K_1j)、花开左组(J_2h)、麦初箐组(T_3m)和三合洞组(T_3s)依次推覆到新地层之上, 构成外来系统, 岩层倒转。矿区局部穹窿化过程使推覆构造面和其上下的地层发生变形, 形成金顶穹窿, 长轴北北东走向, 3.0 km×2.5 km 大小, 核心由“原地系统”构成, 穹窿翼部由“外来系统”组成。受推覆构造面和穹窿—岩性圈闭构造控制, 主要铅锌硫化物矿体呈板状、脉状产在主推覆构造面之上的 K_1j 和之下的 E_1y 陆相碎屑岩中; K_1j 砂岩发生铅锌硫化物矿化形成“上含矿带”矿石, E_1y 含角砾砂岩发生铅锌硫化物矿化形成“下含矿带”矿石; 矿石结构为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等硫化物热液矿物交代高孔渗碎屑岩中钙质胶结物形成的胶结结构, 微晶—胶状构造。伴随穹窿进一步发展, 围绕穹窿核部出现一组放射状断裂, 金顶穹窿破裂; 环绕金顶穹窿核部, 矿区分布着架崖山、北厂、跑马坪、西坡、蜂子山、南厂等多个矿段。金顶铅锌成矿时代与该区喜马拉雅期偏碱性岩浆活动开始时间(68 Ma)相近^[21], 成矿温度为 100~250 °C, 成矿深度为 0.9~1.5 km, 成矿流体盐度中等偏低, 硫化物矿石铅同位素组成主体反映地幔铅, 硫同位素富轻硫^[20-23]。可见, 金顶矿区大致经历了中—新生界沉积、推覆构造、局部穹窿、穹窿破裂等地质过程, 油气成藏和金属成矿可能伴随沉积成岩、推覆构造、局部穹窿化和热液流体活动而先后发生。

2 金顶矿区有机物质和油气显示

2.1 矿石中的有机物质

矿区 K_1j 石英砂岩基本全层发生铅锌硫化物矿

化, 上含矿带矿石呈深灰色、灰色, 经常会嗅到原油味, 尤其是汽油味。打开标本时, 能观察到轻质石油从某个空洞储油集中点向四周扩散, 并且同时嗅到浓烈的汽油味。上含矿带矿石中也常见到干酪根、沥青等有机物质黑色斑点团块状、浸染状分布(图 1a), 在矿石中与闪锌矿、方铅矿等硫化物矿物伴生。

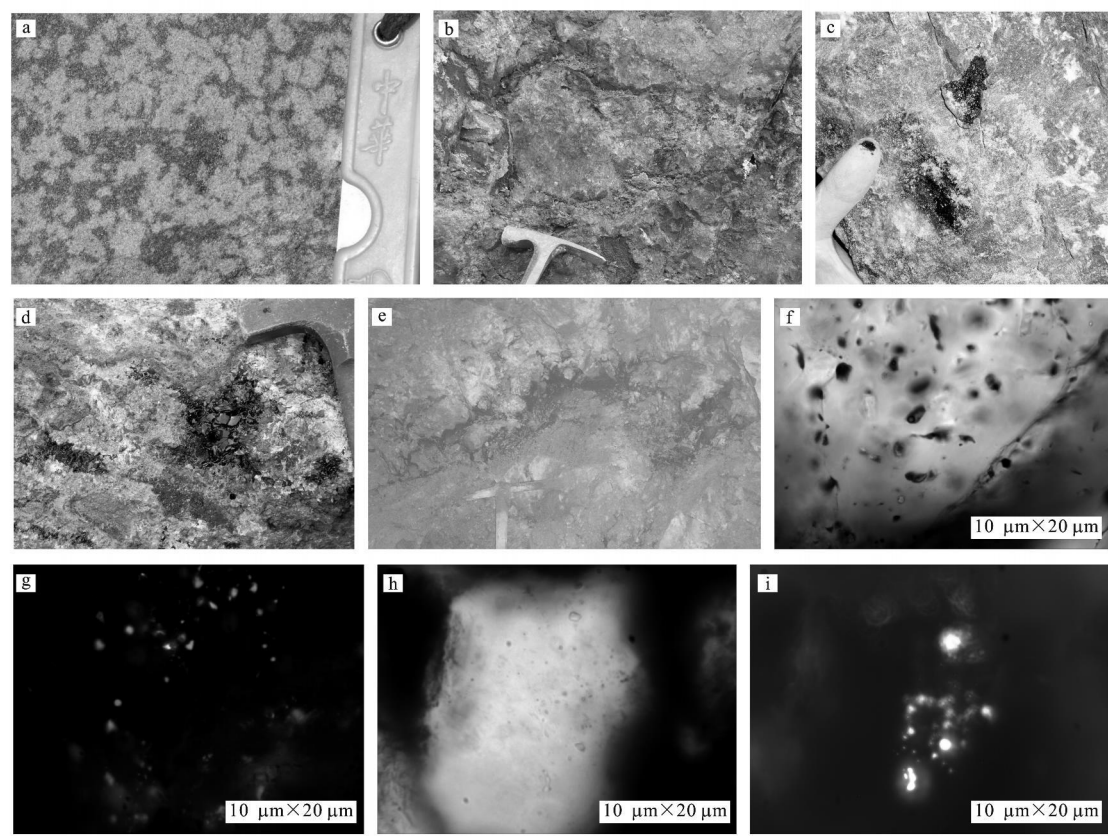
矿区 E_{1y} 与外围区域 E_{1y} 中无明显有机物质的情况显著不同, 矿区 E_{1y} 含角砾砂岩层上部发生铅锌等硫化物矿化, 下含矿带矿石多呈现黑色或深色, 常嗅到的原油气味比在上含矿带矿石中更加浓烈。野外新打开矿石标本时, 嗅到的石油气味使人感到刺鼻难忍。在下含矿带矿石的角砾格架内常见干酪根、沥青(图 1b)。野外新打开矿石时, 矿石新鲜面可见黑褐色重油从空洞中慢慢渗出(图 1c), 具有浓烈的原油气味。上含矿带矿石内空洞及其附近也常见黑色玻璃状沥青(图 1d), 沥青与硫化物

矿物伴生。矿区架崖山矿段露天采场多处可见古油气藏遗迹(图 1e), 有机质热成熟现象显著。

2.2 矿石中的原油、烃类流体包裹体

通过气相色谱、激光拉曼光谱等仪器分析手段, 前人已较早揭示出金顶矿石中流体包裹体含烃类成分^[16, 29]。本研究通过全色光和紫外光显微镜在矿石中观测到较多原油、烃类流体包裹体。下含矿带矿石中, 热液方解石常与黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等硫化物矿石矿物共生, 形成于硫化物矿化中晚阶段; 方解石中多见石油包裹体成群产出, 透射全色光显微镜下呈黄褐色, 具有重油特点(图 1f); 在透射紫外光显微镜下表现出明显的荧光特征(图 1g), 证明是烃类流体包裹体。

上含矿带矿石以石英砂岩为主岩, 铅锌硫化物矿化过程中, 矿石矿物交代砂岩中方解石胶结物而沉淀, 石英等碎屑常见被溶圆现象; 碎屑石英中沿



a—上含矿带矿石, 其中浸染状、团块状干酪根、沥青与闪锌矿、方铅矿等硫化物矿物伴生; b—下含矿带矿石, 角砾格架间的干酪根和沥青; c—下含矿带矿石空洞中的重油聚集和渗出; d—下含矿带矿石空洞中的脆沥青; e—架崖山矿段矿体内的干酪根和沥青, 在空间分布上呈现出油气藏遗迹; f—下含矿带矿石中捕获在热液脉石矿物方解石中的重油原生包裹体; g—照片 f 在紫外光源下石油包裹体呈现的荧光现象; h—上含矿带矿石中碎屑石英晶体中捕获的轻质石油次生包裹体; i—照片 h 在紫外光源下石油包裹体呈现的荧光现象; a、b、c、d、e 为野外照片; f、g、h、i 的观测条件是透射单偏光显微照片

图 1 金顶矿石中的有机物质、原油和烃类流体包裹体

Fig. 1 Organic Matter, Petroleum and Hydrocarbon inclusions in the Jinding Ores

单一(微裂隙)方向捕获有较多次生流体包裹体,透射全色光显微镜下呈现浅灰色(图 1h),在透射紫外光显微镜下出现黄色荧光(图 1i),反映出烃类流体包裹体的确切特点。相对于下含矿带矿石中的重质原油包裹体,上含矿带矿石中的烃类流体包裹体成分更多是轻质原油或烃类气体。

2.3 矿石中有机物质氯仿沥青“A”及其族组成

对金顶矿区架崖山、跑马坪、西坡、蜂子山、南厂等矿段矿石中有机物质进行了氯仿沥青“A”及其族组成分析。实验测试工作在中国石油勘探开发研究院石油地球化学开放研究实验室完成。有机

质氯仿抽提实验时,先用物理方法除去样品表面污染,碎样至 0.1 mm;然后用氯仿在常压沸温下溶解萃取样品,获得氯仿沥青“A”;再脱沥青,并用硅胶—氧化铝柱层析分离法分别得到饱和烃、芳香烃、沥青烯和胶质;最后分析氯仿沥青“A”的族组成(表 1)。为了对比讨论还收集到区域岩石中有机质的相关资料。

兰坪盆地区域岩石样品中有机碳质量分数为 1.12%~3.52%,平均 2.91%(表 1)。有机物质内氯仿沥青“A”质量分数为(99.00~6411.50)×10⁻⁶,平均为2382.3×10⁻⁶,其中泥质岩(样品M1

表 1 金顶铅锌矿石和区域岩石中有机物质的氯仿沥青“A”及其族组成

Tab. 1 Chloroform Bitumen“A” and Their Family Compositions of the Organic Matter in the Jinding Pb-Zn Ores and Regional Rocks											$w_B/10^{-6}$	
序号	样品号	位置	有机碳 /%	氯仿沥青 “A”	有机转 化率/%	饱和烃	芳香烃	总烃	非烃+沥青烯	总烃/氯仿 沥青“A”	(非烃+沥青烯)/ 氯仿沥青“A”	饱和烃/ 芳香烃
1	J05-01	峰子山		72.00		20.94	26.49	47.43	24.57	0.658 8	0.341 2	0.790 7
2	FN20	峰子山		242.00		65.27	114.90	180.17	61.83	0.744 5	0.255 5	0.568 0
3	FN22	峰子山		621.01		239.83	146.39	386.21	234.80	0.621 9	0.378 1	1.648 5
4	J05-02	架崖山		433.00		137.87	114.14	252.01	180.99	0.582 0	0.418 0	1.207 9
5	J05-04	架崖山		183 425.00		47 983.98	33 676.83	81 660.81	101 764.19	0.445 2	0.554 8	1.424 8
6	2JY03	架崖山		148 000.00		29 259.60	34 765.20	64 024.80	83 975.20	0.432 6	0.567 4	0.841 6
7	JYS18	架崖山		20 869.82		2 277.35	6 084.77	8 362.12	12 507.70	0.400 6	0.599 2	0.374 2
8	PM P02	跑马坪		727.99		225.38	200.05	425.43	302.56	0.584 4	0.415 6	1.126 6
9	PM P06	跑马坪		558.00		256.46	193.51	449.97	108.03	0.806 4	0.193 6	1.325 3
10	PM P07	跑马坪		978.00		413.40	348.85	762.25	215.75	0.779 4	0.220 6	1.185 0
11	JP14	跑马坪		363.00		91.11	161.97	253.08	109.92	0.697 2	0.302 8	0.562 5
12	NC08	南厂		46 301.74		9 609.53	15 657.75	25 267.28	21 034.46	0.545 6	0.454 2	0.613 7
13	NC12	南厂		13 330.33		2 241.28	1 993.28	4 234.56	9 095.77	0.317 6	0.682 2	1.124 4
14	XP59	西坡		395 415.42		30 450.00	31 280.49	61 730.49	333 684.93	0.156 1	0.843 8	0.973 5
15	H8	矿区	1.12	808.50	7.2	487.99	164.38	652.37	156.13	0.806 8	0.193 2	2.970 0
16	H15	矿区	2.17	187.00	0.7	61.99	55.00	116.99	70.01	0.625 6	0.374 4	1.130 0
17	H16	矿区	1.26	110.00	0.9	32.95	25.01	57.96	52.04	0.526 6	0.473 4	1.320 0
18	H17	矿区	1.40	796.50	5.7	323.06	188.45	511.51	284.99	0.642 2	0.357 8	1.710 0
19	H23	矿区	2.22	670.50	3.0	341.75	177.15	518.90	151.60	0.773 0	0.226 1	1.930 0
20	H28	矿区	1.57	266.00	1.7	83.04	35.72	118.76	147.23	0.446 5	0.553 5	2.320 0
21	H38	矿区	0.82	266.00	3.2	110.79	65.30	176.09	89.91	0.662 0	0.338 0	1.700 0
22	H39	矿区	1.06	488.80	4.5	207.65	69.48	277.11	211.69	0.566 9	0.433 1	3.600 0
23	H44	矿区	2.66	143.00	0.5	44.37	44.94	98.05	83.95	0.624 6	0.375 4	1.000 0
24	M1	区域	3.40	6 411.50	18.9	1 162.40	2 287.62	3 450.02	2 961.48	0.538 1	0.461 9	0.510 0
25	M2	区域	3.04	1 449.00	4.5	293.71	321.68	615.39	833.61	0.424 7	0.575 3	0.910 0
26	M3	区域	1.12	99.00	0.9	13.84	14.53	28.37	70.63	0.286 6	0.713 4	0.950 0
27	M4	区域	3.08	5 474.50	17.8	766.28	1 681.61	2 447.89	3 026.61	0.447 3	0.552 7	0.470 0
28	M5	区域	3.27	678.00	2.1	133.97	228.01	361.98	316.02	0.533 9	0.466 1	0.590 0
29	M6	区域	3.52	182.00	0.6	43.30	59.62	102.92	79.08	0.565 5	0.434 5	0.730 0

注: 序号 1~14 为金顶矿石中有机质样品, 由中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心测试, 序号 15~29 样品引自文献[3]; 有机转化率等于氯仿沥青“A”占有机碳的百分率。

和 M4)最高(平均 $5\,943\,0\times 10^{-6}$),碳酸盐岩(样品 M2、M5、M6)次之(平均 $769\,7\times 10^{-6}$),砂岩(样品 M3)有机碳和氯仿沥青“A”($99\,0\times 10^{-6}$)均最低(表 1)。有机转化率为 0.6%~18.9%,平均 7.51%,其中泥质岩有机转化率平均 18.35%,砂岩 0.88%,碳酸盐岩介于两者之间(平均 2.4%)。区域岩石中有机物质内氯仿沥青“A”族组成中,总烃(饱和烃+芳香烃,平均 49.01%)略低于“非烃+沥青烯”(平均 50.98%),总烃中芳香烃(平均 32.13%)明显高于饱和烃(平均 16.88%)(图 2)。金顶矿石样品中有机碳质量分数为 0.82%~2.66%,平均 1.61%,低于兰坪盆地区域岩石相应质量分数。有机物质中氯仿沥青“A”为 $(72\sim 395\,415\,42)\times 10^{-6}$ (表 1),比兰坪盆地区域岩石具有更大的变幅,可能是矿区有机物质经受成矿流体热影响的结果。相对于区域岩石,矿石中有机物质的有机转化率较低(0.5%~7.2%,平均为 3.05%),指示矿物有机物质已经明显受到热影响而成熟。与区域岩石不同,矿石中有机物质的氯仿沥青“A”族组分中,总烃增加(平均 58.47%),“非烃+沥青烯”减小(平均 41.53%),饱和烃比例明显增高,芳香烃明显减小, $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳香烃})$ 普遍大于 1,反映烃源母质为 I 型有机质(图 2)。

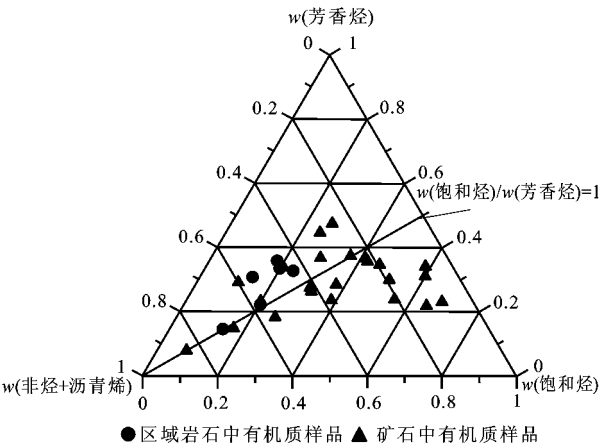


图 2 金顶矿石及区域岩石中有机物质氯仿沥青“A”的族组成
Fig. 2 Family Compositions of Chloroform Bitumen “A” of the Organic Matter in the Jinding Ores and Regional Rocks

2.4 矿石中的饱和烃

进一步对矿石中饱和烃进行气相色谱分析,分析在中国石油勘探开发研究院石油地球化学开放研究实验室完成。使用 HP-5890GC 型气相色谱仪,配置 SE-54 弹性石英毛细色谱柱 25 m×0.22 mm ID;柱温升高程序为起始温度 80℃,恒温 2 min,以 4℃/min 升至 290℃,再恒温 60 min,载气为氮气。饱和烃分子的特征见表 2 和图 3。

表 2 金顶矿石和区域岩石中饱和烃气相色谱分析结果

Tab. 2 Analytical Result of Vapour phase Chromatography of the Saturated Hydrocarbon in the Jinding Ores and Regional Rocks											
序号	样品号	样品位置	峰型特征	碳数集中范围	主峰位置	$\sum 21- / \sum 22+$	C_{21+22} / C_{28+29}	Pr/ Ph	Pr/ C ₁₇	Ph/ C ₁₈	奇偶优势 碳优势指数
1	NC08	南厂	后单高峰	C ₁₂ ~C ₂₉	C ₂₇	0.93	0.780	0.440	0.250	0.490	1.530
2	NC12	南厂	后单高峰	C ₁₁ ~C ₃₀	C ₂₅	0.93	1.760	0.760	0.350	0.390	1.240
3	XP59	西坡	前单高峰	C ₁₁ ~C ₂₉	C ₁₆	1.47	1.340	0.560	0.280	0.510	0.950
4	JYS18	架崖山	后单高峰	C ₁₃ ~C ₃₁	C ₂₆	0.47	0.780	0.410	0.640	1.570	1.010
5	1	矿区	单峰型	C ₁₀ ~C ₂₈	C ₁₆			0.957		0.442	0.837
6	4	矿区	双峰型	C ₁₀ ~C ₃₃	C ₁₅ , C ₂₉			0.590		0.965	0.854
7	5	矿区	单峰型	C ₁₂ ~C ₃₂	C ₁₆			1.010		0.560	0.911
8	XB01	西坡	单峰型	C ₁₅ ~C ₃₄	C ₂₂			0.100		0.626	0.976
9	H15	矿区	前单高峰	C ₁₅ ~C ₃₃	C ₁₇		2.523	1.047	0.540	0.559	
10	H16	矿区	前单高峰	C ₁₅ ~C ₃₃	C ₁₉		3.072	1.032	0.492	0.471	
11	H17	矿区	前单高峰	C ₁₅ ~C ₂₉	C ₁₆		3.582	1.147	0.620	0.833	
12	H38	矿区	前单高峰	C ₁₄ ~C ₃₃	C ₁₈		1.041	1.054	0.646	0.556	
13	M1	区域	前单高峰	C ₁₅ ~C ₃₂	C ₁₈		5.097	1.000	0.830	0.610	
14	M2	区域	前单双峰	C ₁₄ ~C ₃₃	C ₁₉ , C ₃₁		1.336	0.770	0.760	1.000	
15	M3	区域	前单高峰	C ₁₇ ~C ₃₄	C ₁₉		1.611	0.730	0.930	1.370	
16	M4	区域	前单高峰	C ₁₆ ~C ₃	C ₁₉		2.226	0.670	0.450	0.720	
17	M5	区域	前单双峰	C ₁₅ ~C ₃₂	C ₁₇ , C ₃₀		1.972	1.190	1.020	1.000	
18	M6	区域	前单双峰	C ₁₆ ~C ₃₃	C ₁₈ , C ₃₀		1.945	0.470	0.810	1.280	

注: 序号 1~4 为矿区样品,由中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心测试;序号 5~7 样品引自文献[33];序号 8 为矿区样品,引自文献[37];序号 9~18 为有机物质样品,引自文献[31]; $\sum 21- / \sum 22+$ 代表碳数小于 21 与碳数大于 22 的所有饱和烃数之比; C_{21+22} / C_{28+29} 为 $(C_{21}+C_{22}) / (C_{28}+C_{29})$; Pr 为姥鲛烷, Ph 为植烷, C₁₇ 指碳数为 17 的饱和烃(其他类同);表中含量均指质量分数

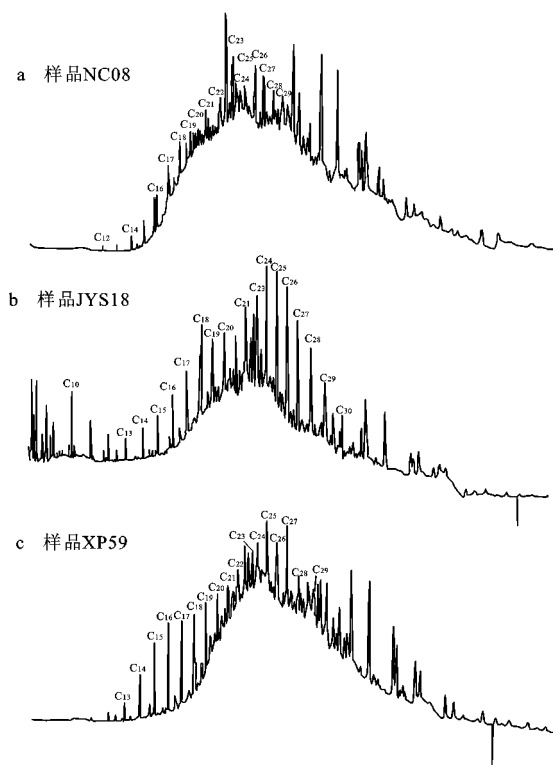


图 3 金顶矿石中饱和烃气相色谱

Fig. 3 Gas Chromatograms of Saturated Hydrocarbons in the Jinding Ores

区域岩石中的饱和烃、碳酸盐岩中出现双峰,主峰碳数为 $C_{17} \sim C_{19}$ 和 C_{30} 、 C_{31} , 以前峰为主, 后峰较低(表 2)。砂岩和泥岩中均为前单高峰型, 主峰碳数为 $C_{17} \sim C_{19}$, 反映烃源母质为藻类。饱和烃生物标志化合物如正构烷烃、Pr、Ph、降姥烷(iC_{18})等质量分数较高, 平均 Pr/Ph 为 0.805, Pr/C_{17} 为 0.8, Ph/C_{18} 为 0.997, 不具明显的奇偶优势, C_{21+22}/C_{28+29} 为 1.336 ~ 5.097, 指示原始有机质来自海相生物。

金顶矿石中饱和烃气相色谱也检测出丰度较高的正构烷烃、Pr、Ph 和 iC_{18} 等生物标志化合物(表 2、图 3), 但 Pr、Ph、 iC_{18} 等质量分数低于正构烷烃。饱和烃分子碳数分布介于 $C_{10} \sim C_{34}$ 之间, 形式有前单高峰、后单高峰和双峰型等, C_{21+22}/C_{28+29} 为 0.78 ~ 3.582, 与区域岩石中饱和烃特征相似; Pr/C_{17} 为 0.25 ~ 0.646, Ph/C_{18} 为 0.39 ~ 1.57, 指示烃源母质形成于一种较强的还原环境, 或与高成熟度有关。前单高峰型有机质样品主峰碳主要为 $C_{16} \sim C_{19}$, 后峰基本消失, 饱和烃主要分布区段和主峰位置均有前移的趋势, 不具有明显的奇偶优势, 烃源母质可能为低等水生藻类; 正构烷烃的 $w(\text{轻烃})/w(\text{重烃})$ 大于 1, 奇偶优势接近于 1, 反映热演化程度较高。后单高峰

型样品相对较少, 正构烷烃的 $w(\text{轻烃})/w(\text{重烃})$ 平均为 1.1, 奇偶优势和碳优势指数均大于 1, 也指示热演化程度较高。双峰型则分别以 C_{15} 和 C_{29} 为碳数主峰, 但以前峰为主, 后峰较低且奇偶优势接近于 1, 不具有明显的奇偶优势, 反映藻类贡献为主。

2.5 矿石中有机质的碳铅同位素组成

从金顶矿石中手工剥离出沥青、重油等有机物质, 并对固体有机质通过实体显微镜纯化, 样品在国土资源部同位素地质开放研究实验室利用固体质谱仪分析。

22 件有机质样品 $\delta^{13}C$ 集中在 $(-29.5 \sim -17.0) \times 10^{-3}$ 。6 件有机质样品的铅同位素为: $N(^{206}Pb)/N(^{204}Pb) = 18.4406 \sim 18.5696$, $N(^{207}Pb)/N(^{204}Pb) = 15.6277 \sim 15.8136$, $N(^{208}Pb)/N(^{204}Pb) = 38.660 \sim 39.201$ 。矿石中有机质的碳、铅同位素组成显示沉积地层有机质源区特征。

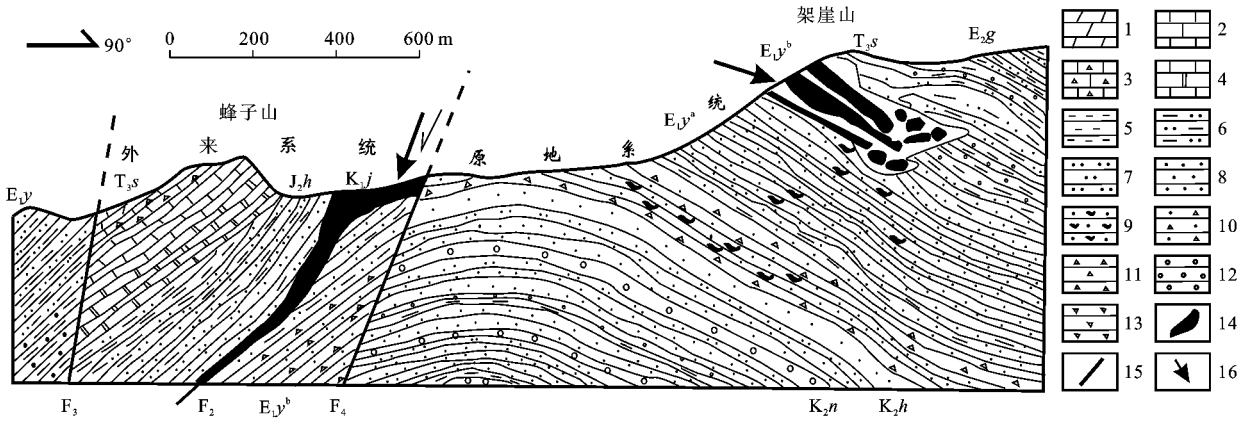
3 讨论

3.1 金顶穹窿内可能的古油气藏

兰坪盆地曾作为石油天然气勘探的目标地区, 上三叠统三合洞组(T_3s)被认为是盆地烃源层^[32]。 T_3s 主要由海相和海陆过渡相沉积的富沥青灰岩和碳质泥灰岩组成, 厚度 185 ~ 395 m, 有机物质丰富, 有机碳质量分数平均为 3.28%, 氯仿沥青“ A ”质量分数为 524.6×10^{-6} , 属腐泥型, 生烃能力强, 生烃高峰期应在侏罗纪—白垩纪。

从区域地质构造分析, 兰坪新生代盆地是伴随兰坪—思茅断裂走滑—拉分为主的构造活动发展起来的。这个中央断裂, 即兰坪盆地中的沱江断裂规模大切割深^[20, 29, 36], 是烃类从三叠系烃源层运移到盆地浅处的良好通道之一。始新世以来, 受印度板块向欧亚板块斜向俯冲的影响, 兰坪盆地出现大规模逆冲推覆构造活动, 在金顶矿区表现为以 F_2 为主的推覆逆断层, 外来系统自东而西推覆于原地系统之上^[36]。推覆构造应力是烃类等流体运移的强大动力, 推覆构造转换阶段推覆构造带也是烃类等流体运移的良好通道。矿床勘探和较多研究表明, 金顶推覆构造之后, 矿区局部穹窿化形成金顶穹窿^[20, 22, 24, 26](图 4), 金顶穹窿是盆地流体聚集和油气成藏的良好构造圈闭。

在金顶穹窿内, 有利的油气储层与铅锌硫化物矿化层位基本一致, 即主推覆构造面(F_2)之上的景星组(K_1j)和之下的云龙组上段(E_1y^b)陆相碎屑岩



E₂g—始新统果朗组; E₁y—古新统云龙组(未分); E₁y^b—古新统云龙组上段; E₁y^a—古新统云龙组下段; K₁j—上白垩统景星组; K₂h—中白垩统虎头寺组; K₂n—中白垩统南新组; J₂h—中侏罗统花开左组; T₃s—上三叠统三合洞组; F₂—穹窿化前的推覆断裂; F₃、F₄—穹窿最终破裂形成的正断层; 1—碳质泥灰岩; 2—富沥青灰岩; 3—角砾状灰岩; 4—白云质灰岩; 5—泥岩; 6—泥质粉砂岩; 7—粉砂岩; 8—细砂—粉砂岩; 9—层纹状细—粉砂岩; 10—含角砾砂岩; 11—角砾岩; 12—砾岩; 13—石膏岩; 14—铅锌矿体; 15—断层; 16—古油气储层层位; 据云南省第三地质大队^[37], 1989 修改

图 4 金顶穹窿构造综合地质剖面

Fig. 4 Comprehensive Geological Section of the Jinding Dome Structure

层,这与矿石相对于区域岩石中更多见到产状不同形式多样有机物质和油气显示的基本事实相吻合。K₁j 为河流相灰色石英砂岩,厚度 60~100 m, E₁y^b 为活动冲积扇相含上三叠统沥青灰岩角砾的石英砂岩,厚度 70~120 m^[20,22]。K₁j 和 E₁y^b 孔隙度及渗透率高,储集空间包括粒间孔隙、次生溶蚀孔隙、灰岩角砾间次生孔隙和构造裂缝等,孔隙度为 6.9%~46.5%,渗透率为 $7.4377 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中等—极好储集层。统计表明,这些岩层的孔喉平均直径为 5.294 μm ,大于 1 μm 的粗喉占 82.9%,小于 0.2 μm 的微孔仅占 6.4%^[32,38]。因此, K₁j 和 E₁y^b 可视为金顶油气储集层。

假如以上推断合理,则油气储集层之上是逆冲推覆而来的中侏罗统花开左组(J₂h)(图 4),它为浅湖相沉积的泥岩、粉砂泥岩夹滨湖相红色碎屑沉积,波痕、沙纹层理、水平层理及重荷模等沉积构造特征明显,厚度 200~328 m。该岩层渗透率较低($0.1604 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),孔隙直径平均为 0.166 μm ,小于 0.2 μm 的孔隙占 83.6%^[32,38],具有很好封闭流体的能力。J₂h 可视为金顶穹窿中封闭流体的良好盖层。

金顶油气储集层之下是古新统云龙组下段(E₁y^a)沉积细砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩,厚度为 228~324 m;岩层中发育泥裂、沙纹层理、小型交错层理等典型沉积构造,表明它属于滨湖相沉积^[32,37]。该岩层渗透率 $1.0504 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙

结构以微孔径占优势,孔隙直径平均为 0.474 μm ,小于 0.5 μm 的孔隙占 78.5%,小于 0.2 μm 的孔隙占 67%^[32,38]。E₁y^a 可视为油气储层的遮挡层。

可见,金顶穹窿具有油气成藏良好的“生油、运移、储集、盖层、圈闭”等配套条件,综合考虑金顶矿石中大量有机物质和油气包裹体的存在,很可能在金顶穹窿内曾形成油气藏。

3.2 古油气藏的可能性质

在金顶局部穹窿化过程中,穹窿核部储集层内必然伴随出现低压空间,盆地流体便循低压方向在穹窿内聚集。依矿石中大量有机物质和原油包裹体的事实,推测可能的油气藏富含原油和烃类天然气。综合考虑到兰坪盆地沉积中多有蒸发岩夹层,金顶矿区新生界中赋存有石膏矿层^[20,24-25],在盆地地层中运动并聚集在穹窿圈闭中的盆地流体除原油和烃类天然气等有机物质外,SO₄²⁻ 等无机盐类也必然具有较高的浓度。

有机组分与无机盐类在大约 1.0 km 深度^[20,22] 储集层内最大可能发生的化学反应



不仅产生大量 H₂S 使油气藏富集还原硫,而且形成 CO₂ 使油气藏出现较高的流体压力,这种热化学硫酸盐还原效应已得到金顶成矿超压流体动力学事实的响应^[39-40],前人研究发现金顶成矿流体含烃富 CO₂ 特征也证实了这一点^[16],激光拉曼探针在

矿石中单个流体包裹体内已揭示出 H_2S 的摩尔分数为 16% [16, 22]。

这种硫酸盐还原反应也不一定仅局限于金顶穹窿内部, 在盆地流体运移过程中也可能发生, 盆地流体中细菌也可能导致硫酸盐还原为 H_2S 。金

顶矿区的面积仅 $(30 \times 25) \text{ km}^2$, 但却聚集着 $1500 \times 10^4 \text{ t}$ 铅锌金属储量 [20, 24-25, 41], 这就意味着最少需要 $353 \times 10^4 \text{ t}$ 还原硫 (即 $375 \times 10^4 \text{ t H}_2\text{S}$) 形成铅锌硫化物沉淀, 很可能金顶油气藏是拥有大量 H_2S 的还原性气藏 (图 5)。

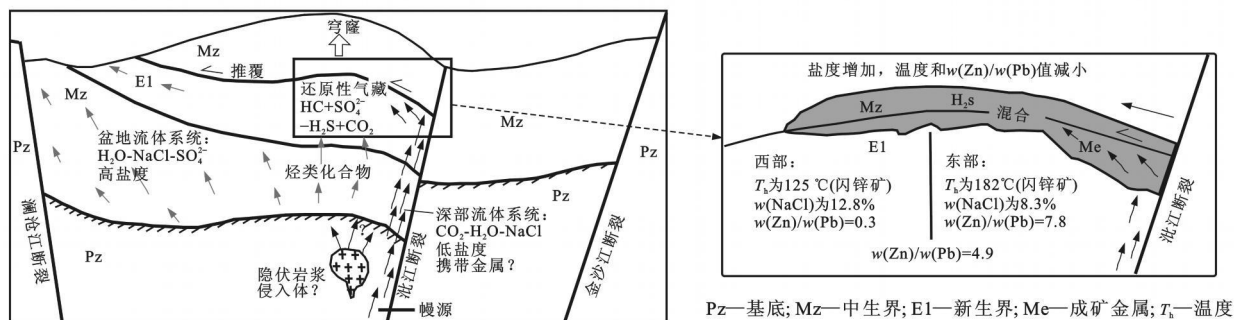


图 5 金顶穹窿中还原性气藏在铅锌硫化物成矿中的作用

Fig. 5 Role of the Former Reduced Gas Reservoir in the Jinding Pb-Zn Sulfide Mineralization

3.3 古油气藏在铅锌大规模成矿中的作用

金顶硫化物矿石中脉石矿物内捕获较多原油包裹体, 反映金顶油气藏在铅锌硫化物矿石沉淀之前或沉淀过程中即已存在 [19]。

如果上述讨论合理, 很显然, 古油气藏在金顶铅锌硫化物大规模成矿中的关键作用是其聚集大量 H_2S 并导致成矿金属集中快速沉淀 (图 5)。

4 结语

(1) 金顶巨量铅锌矿石集中产在金顶穹窿内, 矿石中不同产状的干酪根、轻质原油、重油、烃类气、沥青等多种成熟形式的有机物质丰富, 烃源母质为藻类生物 I 型有机质, 矿石中发育原油和烃类气体包裹体。

(2) 金顶穹窿具有油气成藏的“生油、运移、储集、盖层、圈闭”等配套发育的良好条件, 矿区油气显示和古油气藏遗迹明显, 铅锌成矿前或成矿中可能已存在油气藏; 这个可能的油气藏以富含原油、烃类和 H_2S 等还原性气体为特征。

(3) 金顶古油气藏中 H_2S 等还原性气体的聚集及其导致铅锌硫化物快速集中沉淀是大规模成矿的关键, 成藏一成矿是金顶穹窿中一个连续发生、发展的动力学过程, 成藏是成矿的前提条件。

实验工作主要在中国石油勘探开发研究院石油地球化学开放研究实验室完成, 研究中与李延河、顾雪祥等教授进行过有益讨论, 谨致谢忱。

参考文献:

[1] Barten P R. Possible Role of Organic Matter in the Precipitation of the Mississippi Valley Ores [J]. Economic Geology, 1967, 62(3): 371-378.

[2] Richard D T, Willden M, Marde Y, et al. Hydrocarbons Associated with Lead-zinc Ores at Laisvall, Sweden [J]. Nature, 1975, 255: 131-133.

[3] Macqueen R W, Powell T G. Organic Geochemistry of the Pine Point Lead-zinc Ore Field and Region, Northwest Territories, Canada [J]. Economic Geology, 1983, 78(1): 1-25.

[4] Giordano T H. A Preliminary Evaluation of Organic Ligands and Metal-Organic Complexing in Mississippi Valley-type Ore Solution [J]. Economic Geology, 1985, 80(1): 96-106.

[5] Gize A P, Barnes H L. The Organic Geochemistry of Two Mississippi Valley-type Lead-zinc Deposits [J]. Economic Geology, 1987, 82(2): 457-470.

[6] Disnar J R, Sureau J F. Organic Matter in Ore Genesis: Process and Perspectives [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1/3): 577-599.

[7] Sims D B. Relationships of Silica, Barite, Organic Material and Sulfide Minerals at the Red Dog Zn-Pb-Ag Deposit, Western Brooks Range, Alaska [M]. Boulder: Geological Society of America, 1992.

[8] Kesler S E, Jones H D, Furman F C, et al. Role of Crude Oil in the Genesis of Mississippi Valley-type Deposits: Evidence from the Cincinnati Arch [J]. Geology, 1994, 22(7): 609-612.

[9] Gize A P, Barnes H L. Organic Contributions to Mississippi Valley-type Lead-zinc Genesis [C] // Fontbote L, Boni M. Sediment-hosted Zn-Pb Ore Deposits. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 13-26.

[10] Sicree A A, Barnes H L. Upper Mississippi Valley District Ore Fluid Model: the Role of Organic Complexes [J]. Ore Geology Reviews, 1996, 11(1): 105-131.

[11] Disnar J R. A Comparison of Mineralization Histories for Two MVT Deposits, Treves and Malines (Causses Basin,

- France), Based on the Geochemistry of Associated Organic Matter[J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11(1): 133-156.
- [12] 刘文均,伊海生,温春齐.花垣铅锌矿的形成与古油气藏[C] // 叶连俊.生物有机质成矿作用.北京:海洋出版社,1996:154-167.
- [13] Spangenberg J E, Macko S A. Organic Geochemistry of the San Vicente Zinc-lead District, Eastern Pucara Basin, Peru [J]. *Chemical Geology*, 1998, 146(1/2): 1-23.
- [14] Spangenberg J E, Fontbote L, Macko S A. An Evaluation of the Inorganic and Organic Geochemistry of the San Vicente Mississippi Valley-type Zinc-lead District, Central Peru; Implications for Ore Fluid Composition, Mixing Processes and Sulfate Reduction[J]. *Economic Geology*, 1999, 94(7): 1067-1092.
- [15] Sass-Guszkiewicz M, Kwiecinska B. Organic Matter in the Upper Silesian (Mississippi Valley-type) Deposits, Poland [J]. *Economic Geology*, 1999, 94(7): 981-992.
- [16] 薛春纪,陈毓川,杨建民,等.滇西北兰坪铅锌银铜矿田含烃富CO₂成矿流体及其地质意义[J]. *地质学报*, 2002, 76(2): 244-253.
- [17] 朱弟成,朱利东,林丽,等.西成矿田泥盆系铅锌矿床中的有机成矿作用[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2003, 28(2): 201-208.
- [18] Southam G, Saunders J A. The Geomicrobiology of Ore Deposits[J]. *Economic Geology*, 2005, 100(6): 1067-1084.
- [19] Chi G, Savard M M, Héroux Y. Constraints from Fluid Inclusion Data on the Origin of the Jubilee Carbonate-hosted Zn-Pb Deposit, Cape Breton, Nova Scotia[J]. *Canadian Mineralogist*, 1995, 33: 709-721.
- [20] 薛春纪,陈毓川,杨建民,等.金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. *矿床地质*, 2002, 21(3): 270-277.
- [21] Xue C J, Chen Y C, Wang D H, et al. Geology and Isotopic Composition of Helium, Neon, Xenon and Metallogenic Age of the Jinding and Baiyangping Ore Deposits, Northwest Yunnan, China Series[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, 46(8): 789-800.
- [22] Xue C J, Zeng R, Liu S W, et al. Geological Fluid Inclusion and Isotopic Characteristics of the Jinding Zn-Pb Deposit, Western Yunnan, South China: a Review [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31(1/4): 337-359.
- [23] Kyle J K, Li N. Jinding: a Giant Tertiary Sandstone-hosted Zn-Pb Deposit, Yunnan, China[J]. *SEG Newsletter*, 2002, 50: 8-16.
- [24] 白嘉芬,王长怀,纳荣仙.云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. *矿床地质*, 1985, 4(1): 1-9.
- [25] 高广立.论金顶铅锌矿床的地质问题[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 468-475.
- [26] 吴淦国,吴习东.云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律初探[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 477-486.
- [27] 赵兴元.云南金顶铅锌矿床成因研究[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 523-530.
- [28] 胡明安.试论岩溶型铅锌矿床的成矿作用及其特点——以云南金顶矿床为例[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 531-538.
- [29] 尹汉辉,范蔚茗,林炯.云南兰坪一思茅地洼盆地演化的深部因素及幔壳复合成矿作用[J]. *大地构造与成矿学*, 1990, 14(2): 113-124.
- [30] 王京彬,李朝阳.金顶超大型铅锌矿床REE地球化学研究[J]. *地球化学*, 1991, 19(4): 359-365.
- [31] 胡明安.有机质的热液成熟作用在云南金顶铅锌矿床形成过程中的意义[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(5): 503-512.
- [32] 王大锐,张抗.云南地区新生代盆地含油气性[M].北京:地质出版社,2003.
- [33] 常象春,张金亮.金顶铅锌矿区原油地化特征及其意义[J]. *特种油气藏*, 2003, 10(5): 15-19.
- [34] 薛春纪,高永宝,曾荣,等.滇西北兰坪盆地金顶超大型矿床有机岩相学和地球化学[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2889-2900.
- [35] 高永宝,薛春纪,曾荣.滇西北兰坪金顶铅锌矿床有机物质地球化学[J]. *地球化学*, 2008, 37(3): 223-232.
- [36] Xue C J, Liu S W, Chen Y C, et al. Giant Mineral Deposits and Their Geodynamic Setting in the Lanping Basin, Yunnan, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(2): 1-7.
- [37] 云南省地质矿产局第三地质大队.云南省兰坪县金顶铅锌矿详细勘探地质报告[R].昆明:云南省地质矿产局,1989.
- [38] 付修根,林丽,朱利东.金顶铅锌矿床含矿层沉积环境及成矿条件分析[J]. *成都理工大学学报:自然科学版*, 2005, 32(5): 447-452.
- [39] 薛春纪,Chi G X,陈毓川,等.西南三江兰坪盆地大规模成矿的流体动力学过程——流体包裹体和盆地流体模拟证据[J]. *地学前缘*, 2007, 14(5): 147-157.
- [40] Chi G X, Xue C J, Lai J Q, et al. Sand Injection and Liquefaction Structures in the Jinding Zn-Pb Deposit, Yunnan, China: Indicators of an Overpressured Fluid System and Implications for Mineralization[J]. *Economic Geology*, 2007, 102(4): 739-743.
- [41] 曾荣,薛春纪,刘淑文,等.金顶超大型铅锌矿床成矿条件分析[J]. *地球科学与环境学报*, 2005, 27(2): 21-25.